

Вариабельность сердечного ритма у студентов при физической нагрузке

Л.Г. Ваганян, Э.Г. Геворкян, Н.Э. Татевосян, Э.Г. Костанян, И.Г. Татевосян,
В.А. Малоян, Н.А. Айрапетян, Н.М. Малоян

Институт физиологии им. Л.А. Орбели НАН РА

375028, Ереван, ул. Братьев Орбели, 22

Ключевые слова: функциональное состояние, вариабельность сердечного ритма, вариационная пульсометрия, спектральный анализ, гемодинамика, физическая нагрузка

Среди современных методических подходов к оценке состояния регуляторных систем организма, в частности, функционального состояния различных отделов вегетативной нервной системы (ВНС), существенное место принадлежит анализу вариабельности сердечного ритма сердца (ВСР) [2–4, 10, 13]. В последнее десятилетие увеличилась значимость метода анализа ВСР для экспресс-оценки функционального состояния (ФС) мозга человека. По этой причине особый интерес представляют данные по изучению широкого спектра статистических и спектральных характеристик ВСР, полученных на коротких 5-минутных записях электрокардиограммы (ЭКГ), позволяющих в динамике количественно определить индикаторы тонуса симпатической и парасимпатической нервной системы, которые формируют текущее состояние сердечного ритма [2, 3, 10].

В нашей работе ставилась задача изучить особенности вариабельности сердечного ритма и некоторые основные гемодинамические показатели в условиях физической нагрузки.

Материал и методы

Эксперименты проводились с помощью автоматизированного комплекса на базе персонального компьютера, соединенного с полиграфом "BAINTRONICS" The Netherlands [5]. В обследовании принимали участие 33 студента обоих полов в возрасте 17–18 лет. Предварительно каждый испытуемый заполнял опросник Г. Айзенка [11], позволяющий оценить показатель экстраверсии. Определяли уровень тревожности по тесту Тейлора [14]. Учитывали вес и рост обследуемых. В качестве физической нагрузки применялся двухступенчатый нагрузочный тест (степ-тест) [1]. Циклы подъемов и спусков (всего 16 циклов) совершались обследуемыми на протяжении 4 мин. Темп

задавался метрономом. Время определялось секундомером. Промежуток между окончанием степ-теста и началом регистрации ЭКГ составлял 20–25 сек. Запись ЭКГ и измерение артериального давления проводились дважды – непосредственно до и после выполнения степ-теста. Использовали метод математического анализа ритма сердца [2]. Анализировались последовательности временных интервалов между смежными R-зубцами ЭКГ (кардиоинтервалы).

Обозначения спектральных составляющих ритма сердца приводятся с учетом опубликованных рекомендаций Европейского кардиологического общества Северо-Американского общества электрофизиологии [12]. Статистическая обработка полученных данных выполнена с помощью компьютерных пакетов Excel и Stat soft Statistical.

Результаты и обсуждение

Как видно из табл. 1 (Т1), у всех испытуемых после выполнения степ-теста достоверно возросли значения ИН на 37,2%, ИВР – 37,5%, ВПР – 30,7%, ПАПР – 26,6%, а также АМо на 18,5%, а значения Мо и ΔХ достоверно снизились на 9,3 и 23,9 % соответственно ($p < 0,01–0,001$). Отмеченные изменения исследуемых показателей свидетельствуют об увеличении активности симпатического отдела ВНС и усилении напряженности регуляторных механизмов мозга. Повышение АМо свидетельствует об умеренном преобладании тонуса симпатического отдела ВНС к концу выполнения физической нагрузки. Уменьшение показателей Мо и ΔХ указывает на снижение активности гуморального канала регуляции. Рост значений ИВР, ВПР и ПАПР означает смещение вегетативного равновесия в сторону преобладания симпатического отдела ВНС, а рост ИН – повышение степени централизации управления сердечным ритмом [2, 3, 9, 10].

Таблица 1

Основные показатели variability сердечного ритма и гемодинамики до (T0) и после (T1) физической нагрузки у всех испытуемых и в группах, выделенных по индивидуально-типологическим особенностям

Показатели	Все испытуемые (n = 33)			Экстраверты (n = 25)			Интроверты (n = 7)		
	T0	T1	p	T0	T1	p	T0	T1	p
АМо, %	41,5±11,0	50,7±13,2	< 0,01	42,7±11,68	51,8±13,84	< 0,01	37,9±10,68	49,7±11,99	< 0,05
Мо, Мсек	729,9±86,8	667,2±91,1	< 0,01	723,8±81,62	657,2±74,6	< 0,01	749,5±86,3	668,5±110,79	
ΔХ, Мсек	255,3±129,8	206,1±106,9	< 0,05	239,6±112,8	204,4±118,6		300,1±194,4	197,0±70,07	
ИН, усл.ед.	163,2±121,7	259,7±231,5	< 0,01	181,0±136,17	314,2±244,64	< 0,01	119,8±62,47	280,6±209,74	
ИВР, усл.ед.	226,6±147,06	362,3±250,8	< 0,01	247,1±161,17	384,6±270,81	< 0,05	182,0±104,94	337,5±188,9	
ВПР, усл.ед.	7,0±3,38	10,1±5,39	< 0,01	7,5±3,71	10,5±5,55	< 0,01	5,8±2,02	10,0±5,32	
ПАПР, усл.ед.	58,4±20,4	79,5±29,2	< 0,001	58,4±20,4	81,8±29,08	< 0,01	50,5±12,85	79,0±31,81	0,05
ЧСС, уд/мин	79,6±8,22	88,3±11,32	< 0,001	79,6±8,22	88,6±9,96	< 0,001	76,2±7,36	88,0±14,3	< 0,05
АДс, мм рт.ст.	111,6±9,35	116,9±8,51	< 0,01	111,6±9,35	115,3±8,55		114,3±12,14	123,8±5,65	< 0,05
АДд, мм рт.ст.	73,0±7,45	74,0±5,84		73,0±7,45	73,8±6,54		73,8±6,47	74,8±3,94	
УО, мл	70,8±15,2	77,9±16,1	< 0,05	70,8±15,2	75,4±15,5		75,9±16,6	90,8±11,7	< 0,05
МОК, мл	5720±1521,9	7024±2066,7	< 0,01	5720±1521,9	6869±1928,6	< 0,01	6038±1707,0	8164±2162,48	< 0,05
ПСС	1307±426,4	1146±354,9		1307±426,4	1161,3±336,1		1223±313,2	967,2±226,7	< 0,05

Примечание. Показатели variability сердечного ритма: Мо — мода, наиболее часто встречающаяся величина кардиоинтервалов; АМо — амплитуда моды — число кардиоинтервалов, соответствующих значению моды; ΔХ — вариационный размах; ИН — индекс напряжения регуляторных систем; ИВР — индекс вегетативного равновесия; ВПР — вегетативный показатель ритма; ПАПР — показатель адекватности процессов регуляции. Гемодинамические показатели: ЧСС — частота сердечных сокращений; АДс, АДд — систолическое и диастолическое артериальное давление; УО — ударный объем; МОК — минутный объем крови; ПСС — периферическое сопротивление сосудов; р — достоверность различий между T0 и T1

Анализ гемодинамических показателей (табл. 1, T1) показал, что после выполнения степ-теста наблюдался гиперкинетический вариант кровообращения: возрастание УО на 9,2% (р<0,05) и МОК на 18,6% (р<0,01) сочеталось с незначительным снижением на

14% периферического сопротивления кровотоку. Наблюдалось также учащение ЧСС на 9,9% (р<0,001), повышение артериального давления, в частности систолического, на 4,6% (р<0,01). Таким образом, выявленный нами набор характеристик ВСР (увеличение

ИН, ИВР, ВПР, ПАПР, АМо и понижение Мо и ΔX) и показателей гемодинамики (прирост УО, МОК и уменьшение ПСС) отражает смещение вегетативного баланса в сторону преобладания активности симпатической нервной системы, усиление центральных регуляторных влияний на сердце и активацию системной гемодинамики при физической нагрузке. Изменения всех изучаемых показателей были статистически достоверны ($p < 0.05 - 0.001$). Следует отметить, что сдвиги рассматриваемых переменных, зарегистрированных после выполнения степ-теста, сопоставимы с изменениями, выявленными другими авторами [4,6,7,9,13].

В группе, выделенной по индивидуально-типологическим особенностям, испытуемые экстраверты составили 76%, а интроверты – 24%. Как видно из табл. 1 (Т0), экстраверты в исходном состоянии отличались от интровертов более высокими значениями показателей ВСР, отражающими активность симпатической нервной системы, обусловленной в данном случае эмоциональным состоянием испытуемых

экстравертов в силу их индивидуально-типологических особенностей [11]. У экстравертов после выполнения заданий были выявлены статистически значимые различия по всем показателям ВСР и некоторым показателям гемодинамики (Т1), указывающие на усиление симпатического влияния на кардиоритм: рост ИН, ИВР, ВПР, АМо, ПАПР, ЧСС, МОК и снижение Мо и ΔX , ПСС. У интровертов достоверные различия наблюдались только по основным показателям гемодинамики.

Нами выявлены межполовые различия по величине исследуемых параметров в состоянии готовности (табл. 2, Т0): у студентов по сравнению со студентками данные ВСР говорят о несколько повышенном тоне симпатической нервной системы и напряженности регуляторных систем сердца [8]. Подобное состояние рассматривается как следствие возникновения эмоционального напряжения, направленного на мобилизацию энергетических и функциональных ресурсов организма с целью адекватного уровня предстоящей деятельности. После выполнения степ-теста

Таблица 2

Основные показатели вариабельности сердечного ритма и гемодинамики до (Т0) и после (Т1) физической нагрузки в группе, выделенной по половому признаку

Показатели	Студенты (n = 12)			Студентки (n = 21)		
	Т0	Т1	p	Т0	Т1	p
АМо, %	45,3±10,8	47,2±11,8		39,3±10,7	53,2±13,8	< 0.001
Мо, мсек	758,9±102,3	717,6±100,1		712,8±73,34	630,0±36,7	< 0.001
ΔX , мсек	251,1±143,7	250,9±140,2		257,7±124,3	173,0±587,4	< 0.01
ИН, усл.ед.	193,1±153,7	217,0±177,6		145,5±98,0	353,7±253,1	< 0.01
ИВР, усл.ед.	269,3±180,1	284,4±197,7		201,3±121,5	419,7±274,7	< 0.01
ВПР, усл.ед.	7,5±4,42	8,0±4,69		6,7±2,67	11,7±5,45	< 0.001
ПАПР, усл.ед.	62,0±22,5	68,8±26,0		56,2±19,2	87,4±29,6	< 0.001
ЧСС, уд/мин	78,5±8,57	82,4±11,7		80,2±8,13	92,6±9,03	< 0.001
АДс, мм рт.ст.	113,4±8,57	116,1±7,48		110,5±9,81	117,4±9,37	< 0,05
АДд, мм рт.ст.	73,2±5,96	74,5±5,43		73,0±8,34	73,7±6,25	
УО, мл	71,1±16,3	73,9±15,1		70,7±14,9	80,8±16,5	< 0,05
МОК, мл	5753±1630,3	6225±2068,8		5700±1478,5	7613±1907,6	< 0,001
ПСС	1306±405,9	1271±391,8		1307±447,5	1054±303,5	< 0,05

Примечание. Обозначения те же, что и в табл. 1

Таблица 3

Спектральные и некоторые комплексные показатели variability сердечного ритма до (Т0) и после (Т1) физической нагрузки у всех испытуемых и в группах, выделенных по личностным характеристикам и половому признаку

Время записи ЭКГ	Все испытуемые (n = 33)							
	K1	ОНЧ, мс ²	НЧ, мс ²	ВЧ, мс ²	ИЦРП, усл. ед.	ИАНЦ, усл. ед.	ПАРС, балл	НЧ / ВЧ
Т0	0,502± 0,220	0,0613± 0,0144	0,0810± 0,0223	0,0890± 0,0199	5,17± 1,97	1,19± 0,24	2,60± 0,94	0,926± 0,349
Т1	0,581± 0,193	0,0721± 0,0186	0,0835± 0,0162	0,0800± 0,0113	6,77± 2,53	1,29± 0,26	3,20± 1,34	1,068± 0,264
p		< 0,01		< 0,05	< 0,01		< 0,05	
Экстраверты (n = 25)								
Т0	0,524± 0,227	0,0623± 0,012	0,0855± 0,020	0,0893± 0,021	5,46± 1,87	1,15± 0,19	2,67± 0,97	1,01± 0,31
Т1	0,604± 0,199	0,0734± 0,019	0,0853± 0,017	0,0797± 0,012	7,14± 2,75	1,28± 0,27	3,33± 1,29	1,10± 0,28
p		< 0,01		< 0,05	< 0,01	< 0,05	< 0,05	
Интроверты (n = 7)								
Т0	0,394± 0,192	0,0556± 0,015	0,0655± 0,026	0,0917± 0,022	3,94± 1,48	1,33± 0,31	2,48± 1,08	0,77± 0,45
Т1	0,565± 0,165	0,0712± 0,019	0,0794± 0,015	0,0823± 0,008	6,09± 1,62	1,39± 0,27	3,07± 1,64	0,98± 0,25
p					< 0,01			
Студенты (n = 12)								
Т0	0,527± 0,203	0,0632± 0,0107	0,0925± 0,0189	0,0829± 0,0132	5,60± 1,81	1,08± 0,23	2,47± 1,09	1,141± 0,276
Т1	0,528± 0,206	0,0705± 0,0170	0,0866± 0,0180	0,0794± 0,0119	6,44± 2,65	1,21± 0,27	2,62± 1,20	1,101± 0,216
p			< 0,05					
Студентки (n = 21)								
Т0	0,488± 0,2320	0,0602± 0,0163	0,0742± 0,0218	0,0926± 0,0225	4,92± 2,06	1,26± 0,22	2,70± 0,61	0,856± 0,350
Т1	0,620± 0,178	0,0734± 0,0201	0,0813± 0,0148	0,0804± 0,0112	7,01± 2,49	1,36± 0,24	3,62± 1,31	1,043± 0,298
p	< 0,05	< 0,05		< 0,05	< 0,01		< 0,01	

Примечание. К1 – значение первого коэффициента автокорреляционной функции, отражающее степень активности автономного контура регуляции; ВЧ – высокочастотная компонента в спектре сердечного ритма, 0,40–0,15 Гц, связанная с активностью парасимпатической нервной системы; НЧ – низкочастотная – 0,04–0,15 Гц, ассоциирующаяся с активностью симпатической нервной системы, подкоркового сосудистого центра; ОНЧ – очень низкочастотная – 0,05–0,015 Гц, которая отражает, по мнению многих исследователей, уровень основного обмена, терморегуляции, эрготропных функций; отношение НЧ/ВЧ – рассматривается в качестве показателя симпатико-парасимпатического равновесия; ИАНЦ – индекс активации нервных центров; ИЦРП – индекс централизации процессов регуляции, отражающий степень централизации управления ритмом сердца; ПАРС – комплексный показатель активности регуляторных систем, учитывающий статистические показатели, показатели вариационной пульсометрии и данные спектрального анализа кардиоинтервалов; p – достоверность различий между Т0 и Т1

у студенток по сравнению со студентами отмечались статистически достоверные сдвиги ($p < 0,05-0,001$) регистрируемых показателей, отражающие активность симпатической нервной системы, что свидетельствует о стрессогенности данного вида деятельности для представительниц женского пола, которые прикладывали больше физических усилий для выполнения степ-теста (табл. 2, T1). Так, у девушек наблюдался значительный рост ИН на 58,9%, ИВР – 52%, ВПР – 52%, ПАПР – 36%, АМо – 26,2%, ЧСС – 13,3%, достоверно снизились Мо и ΔX на 13,1 и 48,9% соответственно. Статистически достоверные различия ($p < 0,05-0,001$) отмечались и в отношении показателей гемодинамики: УО повысился на 12,5%, МОК – на 25,1%, а ПСС уменьшился на 24%. У студентов статистически недостоверно возросли ИН, ИВР, ВПР, ПАПР, АМо, ЧСС соответственно на 11; 5,3; 6,3; 9,9; 4,1; 4,7% и уменьшились значения Мо и ΔX на 5,8 и 0,08%. Гемодинамические показатели УО и МОК возросли соответственно на 3,8 и 7,6%, а ПСС уменьшился на 2,8%. Эти изменения носили статистически незначимый характер, и указывают на то, что представители мужского пола для выполнения степ-теста прикладывают меньше усилий в силу своего физического превосходства.

В табл. 3 представлены результаты спектрального анализа, а также некоторые комплексные показатели (ИЦРП, ИАНЦ, ПАРС). У всех испытуемых после выполнения степ-теста (табл. 3, T0) наблюдался незначительный рост K1, НЧ, ИАНЦ, НЧ/ВЧ, достоверное повышение ($p < 0,01$) ОНЧ. При этом существенно снизилась ($p < 0,05$) активность парасимпатического (респираторного) звена регуляции – показатель ВЧ. Эти данные также свидетельствуют об усилении активности симпатического отдела ВНС в процессе реализации физической нагрузки. Согласно литературным данным [1,2,4,12], рост мощности ОНЧ сопровождается увеличением анаэробного порога организма

и повышением физической работоспособности. Рост показателя НЧ/ВЧ позволяет говорить о преобладании симпатической нервной системы над парасимпатической. Нами выявлены также межполовые различия: у студенток наблюдалось состояние выраженного напряжения регуляторных систем, которое связано с активной мобилизацией защитных механизмов, повышением активности симпатической нервной системы (ПАРС=4). Изменения большинства изучаемых параметров после выполнения нагрузки были статистически достоверными ($p < 0,01-0,05$). У студентов отмечалось состояние умеренного напряжения регуляторных систем (ПАРС=3). После физической нагрузки (T1) у экстрасвертов по сравнению с интровертами выявлены достоверные сдвиги по многим параметрам (ОНЧ, ВЧ, ИЦРП, ИАНЦ, ПАРС), отражающие смещение вегетативного баланса в сторону преобладания симпатической нервной системы.

Таким образом, в процессе реализации степ-теста совокупность исследуемых показателей ВСР, их спектральных характеристик, а также основные показатели гемодинамики свидетельствуют о смещении вегетативного баланса в сторону преобладания активности симпатической нервной системы, усилении центральных регуляторных влияний и стимуляции системной гемодинамики. У студенток существенный сдвиг регистрируемых показателей указывал на приложенные ими больше физических усилий для выполнения предложенной физической нагрузки. Студентам требовалось сравнительно меньше усилий в силу их физического превосходства. Полагаем, что показатели математического анализа вариабельности сердечного ритма в совокупности с основными характеристиками гемодинамики могут быть достаточно надежными и информативными критериями для оценки текущего ФС ВНС при различного рода нагрузках.

Поступила 22.06.06

Մարդի ուժերի փոփոխականությունը ուսանողների մոտ ֆիզիկական ծանրաբեռնվածության պայմաններում

Լ.Գ. Վահանյան, Է.Գ. Գևորգյան, Ն.Է. Թադևոսյան, Է.Գ. Կոստանյան, Ի.Գ. Թադևոսյան, Վ.Ն. Մալոյան, Ն.Ա. Նալբանդյան, Ն.Մ. Մալոյան

Ֆիզիկական ծանրաբեռնվածության ընթացքում վեգետատիվ, սպեկտրալ և հեմոդինամիկ բնութագրերի փոփոխությունները վկայում են վեգետատիվ բալանսի՝ դեպի սիմպատիկ նյարդային համակարգ չափավոր տեղաշարժի մասին. ուժեղանում է կենտրոնական կարգավորող ազդեցությունը և համակարգային հեմոդինամիկայի ակտիվացումը: Աղբյուր-

ների մոտ գրանցված ցուցանիշների էական փոփոխությունները ցույց են տալիս, որ նրանք ստեպ-թեստը կատարելիս ավելի շատ ֆիզիկական ուժ են գործադրում, ի տարբերություն տղաների, որոնք մոյն քան տղային կատարման ընթացքում համեմատաբար ավելի քիչ ֆիզիկական ճիգ են գործադրում՝ ի հաշիվ իրենց ֆիզիկական զարգացվածության:

Կարևոր է ընդգծել, որ սրտի ռիթմի փոփոխականության մաթեմատիկական վերլուծության արդյունքների համադրումը հենդիկամիկայի հիմնական արդյունքների հետ կարող է ծառայել տարբեր ֆիզի-

կական ծանրաբեռնվածության ժամանակ օրգանիզմի ընթացիկ ֆունկցիոնալ վիճակի գնահատման բավական հուսալի և ինֆորմատիվ չափանիշ:

Heart rhythm variation among students under physical assignments

L.G. Vahanyan, E.G. Gevorgyan, N.E. Tadevosyan, E.G. Kostanyan, I.G. Tadevosyan, V.H. Maloyan, N.A. Hayrapetyan, N.M. Maloyan

Variations of autonomic, spectral and hemodynamic characteristics during physical assignments evidence the unlimited shift of autonomic balance towards sympathetic nervous system, the central regulatory impact and system hemodynamic activity increase. Considerable variations of indicators registered for female patients prove that girls use more physical power when doing the step-test than the male patients, who use less physical power for the

same test due to their physical development.

It is important to note that the comparison of results of mathematical analysis of heart rhythm variations with the basic hemodynamic indicator can be used as a reliable and informative criterion for assessment of the functional state of the organism during various physical assignments.

Литература

1. Автоматизированная экспресс-методика определения функционального состояния сердечно-сосудистой системы и систем ее регуляции. Киев, 2001, с. 5-32.
2. Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. М., 1984, 221с.
3. Баевский Р.М. Анализ вариабельности сердечного ритма в космической медицине. Физиология человека, 2002, 28, 1, с. 70-82.
4. Викулов А.Д., Немиров А.В., Ларионова Е.А., Шевченко А.Ю. Вариабельность сердечного ритма у лиц с повышенным режимом двигательной активности у спортсменов. Физиология человека, 2005, 31, 6, с. 34-59.
5. Геворкян Э.Г. Создание методов компьютерной диагностики общего функционального состояния организма, подвергнутого стрессорным перегрузкам. Современные аспекты радиационной медицины и ожогов. Ереван, 1995, с. 8-11.
6. Кузнецова О.В., Сенькин В.Д. Спектральный анализ вариабельности ритмов сердца, артериального давления и дыхания у детей 8-11 лет в покое. Физиология человека, 2005, 31, 1, с. 33-39.
7. Кузьменко В.А. Сопоставление вегетативных показателей студентов при экзаменационном стрессе и при физической нагрузке. Физиология человека, 2002, 28, 5, с. 131-133.
8. Левушкин С.П. Комплексная оценка физической работоспособности юношей. Физиология человека, 2001, 27, 5, с. 68-75.
9. Нестеров С.В. Особенности вегетативной регуляции сердечного ритма в условиях воздействия острой экспериментальной гипоксии. Физиология человека, 2005, 31, 1, с. 82-87.
10. Ноздрачев А.Д., Щербатых Ю.В. Современные способы оценки функционального состояния автономной (вегетативной) нервной системы. Физиология человека, 2001, 27, 6, с. 95-101.
11. Eysenck H.J. The biological basis of personality. Springfield, 1967.
12. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use., Circulation, 1996, 93, 5, p. 1043.
13. Montano N., Cogliati Ch., Dias da Silva V. J. et al. Sympathetic rhythms and cardiovascular oscillation, Autonomic Neuroscience, Basic & Clinical, 2001, 90, p. 29-34.
14. Teylor J.A. A personality scale of manifest anxiety. J.Abnorm. Soc. Psychol., 1953, 48, p. 285.